

XVI ERIAC
DECIMOSEXTO ENCUENTRO
REGIONAL IBEROAMERICANO DE CIGRÉ

17 al 21 de mayo de 2015



A1-10

Comité de Estudio A1 - Máquinas Eléctricas Rotativas

NUESTRA EXPERIENCIA CON EVALUACIONES FUNCIONALES DE SISTEMAS DE AISLAMIENTO ELÉCTRICO Y LAS RECOMENDACIONES DE LA IEC 60034-18 E IEEE 434

J. J. ROCHA E.
Generator Expert Global Technology Centre LAM
ALSTOM – Renewable Power
Brazil

T. HILLMER
Manager Electrical Insulation Systems
ALSTOM Ltd.
Switzerland

T. KLAMT
Manager R&D Stator Winding Technology
ALSTOM Hydro Ltd.
Switzerland

Resumen *– Tanto la IEC 60034-18 como la IEEE 434 proveen recomendaciones sobre como conducir evaluaciones funcionales de sistemas de aislamiento eléctrico aplicado a máquinas rotativas. El foco principal adoptado por estas normas está relacionado con pruebas funcionales asociadas a los diferentes tipos de estrés que puedan darse lugar durante el tiempo de servicio de estas máquinas. Sin embargo, no se emiten definiciones claras sobre los requisitos de preparación, parámetros y criterios de evaluación.*

Estas normas recomiendan medidas relativas de parámetros, que deberían ser comparadas con otras similares, las que servirían de referencia toda vez que se introduzcan modificaciones en las dosis de los componentes o se apliquen nuevos materiales. Por lo tanto, estos estándares no se destinan para uso integrado al plan de pruebas de control de calidad. Tampoco deberían ser usadas como parte de especificaciones técnicas del sistema de aislamiento eléctrico de la máquina.

La sola comparación de sistemas aislantes entre prole y progenitor, evaluadas bajo condiciones diferentes, por si misma, no es totalmente significativa. Una manera más satisfactoria de evaluar un nuevo sistema de aislamiento, o las modificación introducidas en una nueva generación, debería ser por comparación directa de resultados obtenidos cuando se somete el candidato a los mismos criterios de evaluación de un sistema aislante de referencia ya consagrado por su buen tiempo de servicio.

El presente trabajo describirá el enfoque y experiencia de la empresa en la que los autores trabajan en lo relacionado a evaluaciones funcionales de sistemas de aislamiento. Este abordaje contempla las recomendaciones de las normas mencionadas y lleva en consideración el know-how de esta empresa en pruebas internas y el largo tiempo de experiencia operacional en campo con el sistema aislante Micadur®.

Palabras clave: Generadores sincrónicos, sistemas de aislamiento, endurancia al voltaje alterno; “endurance voltaje”; endurancia termomecánica; endurancia electromecánica.

1 INTRODUCCIÓN

Hacen más de cincuenta años que el sistema de aislamiento Micadur®, clase 155 (F), a base de resinas termoestables, ha sido introducida en la tecnología de las grandes máquinas rotativas con tensiones nominales de hasta 27 kV y potencias que van hasta 20000 kVA. A lo largo de esta evolución se han

* johnny.rocha@power.alstom.com

experimentado algunas técnicas de evaluación funcional de estos compuestos[1] a base de resina, mica y fibra de vidrio.
Al principio, cada fabricante de máquinas de alta tensión tuvo que desarrollar su propia metodología de evaluación. Después de más de 30 años de procedimientos independientes, en 1992 la IEC Rotating Electrical Machines publicó la primera edición de la *IEC 60034-18 Functional Evaluation of Insulation Systems* [1] para proveer *pautas estandarizadas* (pautas) relativas al presente proceso de evaluación. Este documento, que comprende varias partes, trata de diferentes tipos de evaluaciones funcionales y procedimientos de pruebas especiales.
Paralelamente a esta iniciativa un grupo de trabajo del IEEE publicó en 1991 la *IEEE Guide for Functional Evaluation of Insulation Systems for AC Electric Machines Rated 2300 V and Above*, y una segunda edición en 2006 [2], que es sobre la cual se basarán las consideraciones de este trabajo. El objetivo principal de ambas corrientes directrices es formular recomendaciones sobre la forma de evaluar y comparar los sistemas de aislamiento utilizados, o propuestos para uso, en máquinas eléctricas. En este intento se ha propuesto un conjunto de evaluaciones funcionales basadas en pruebas de voltaje, pruebas térmicas, pruebas termo-mecánicas y pruebas de resistencia electromecánica.
Más recientemente, desde 2010 hasta el presente, se han publicado nuevas ediciones del IEC 60034-18 y sus varias partes.
Debe celebrarse el gran esfuerzo dedicado a la composición de dichas pautas y sus recomendaciones pero, como es natural en una materia tan compleja, se ha dejado espacio para que cada fabricante conduzca sus propios procedimientos de evaluación, contemplando por un lado, los principales conceptos de los estándares, y por el otro las características peculiares que otorgan competitividad a sus sistema aislante.
Nuestra empresa, con el Micadur®, pionera en los sistemas de aislamiento clase 155 (F), ya en 1976 publicó sus propias constataciones relacionadas a pruebas funcionales de larga duración en sistemas aislantes para máquinas eléctricas de alta tensión [3]. Donde describe una metodología que en grande parte está en conformidad con las recomendaciones de la IEC y conceptualmente también coinciden con las proposiciones de la IEEE.
De esta forma, en este trabajo se comparan y comentan conceptos de ambas directrices y se describe como la metodología Asltom para la evaluación funcional de sistemas aislantes de alta tensión está en consonancia con las pautas tanto de la IEC como del IEEE.

2 IEC 60034-18 Y IEEE 434 COMO PAUTAS DEDICADAS A LA EVALUACIÓN FUNCIONAL

Una vez que la fiabilidad y vida útil de una máquina eléctrica depende en gran medida del comportamiento del devanado del estator, el enfoque principal en ambas directrices son las pruebas funcionales que llevan en consideración las diferentes fuentes de estrés durante la vida útil de la máquina. De acuerdo con [4] el devanado del estator es el único componente sometido a todas las fuentes de estrés **T**érmicas, **E**léctricas, **A**mbientales y **M**ecánicas (factores de estrés TEAM). Las tensiones de operación y el estrés definitivo acumulado por un devanado del estator pueden ser ilustrados por la figura 1.

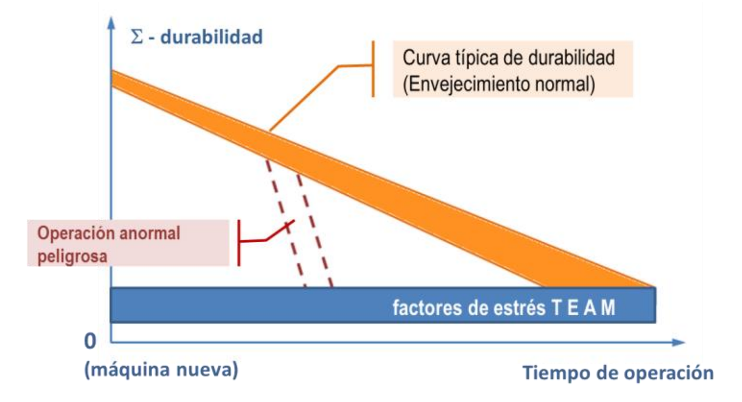


Figura 1 – Relación entre tiempo de operación, solicitaciones de operación y consumo de vida útil en devanados estatóricos.

[1] En este documento se utilizará “compuestos”, para denominar “composites”, del inglés, que por lo general designa al producto aglomerado de resina, mica y fibra de vidrio.

Así, tanto la IEC como el IEEE concentran su atención para correlacionar los factores de influencia TEAM que causan el envejecimiento de los sistemas aislantes.
Todos esos procedimientos de pruebas de evaluación funcional se asientan en la comparación de los resultados de un *candidato a sistema de aislamiento* con los resultados de un *sistema referencial de aislamiento* de comprobada experiencia por largo tiempo de servicio.
De acuerdo con [1] un *candidato a sistema de aislamiento* es un sistema que está siendo ensayado para determinar su capacidad frente a los factores de envejecimiento; y un *sistema referencial de aislamiento* es un sistema cuyo desempeño fue establecido por la experiencia consolidada de servicios satisfactorios.

El IEEE 434, dedicado a correlacionar los mecanismos de deterioro que conducen al envejecimiento de los sistemas aislantes de máquinas eléctricas rotativas, ha concentrado en un solo documento las pruebas funcionales que idealmente envuelvan los factores TEAM de deterioro. Habiendo, por eso, distribuido su atención en los siguientes conjuntos de pruebas funcionales:

- ⇒ Endurancia[2] al voltaje alterno ("voltage endurance");
- ⇒ Endurancia térmica ("termal endurance");
- ⇒ Endurancia termomecánica ("thermo-mechanical endurance"); y
- ⇒ Endurancia electromecánica ("electro-mechanical endurance")

2.1 Endurancia al voltaje alterno

La IEEE 434 describe los procedimientos y objetivos generales de esta prueba de evaluación funcional. No se ocupa de los detalles una vez que 1997 se publicó un revisión del IEEE Std 1043-1997 *Recommended Practice for Voltage-Endurance Testing of Form Wound Bars and Coils* que conduce los procedimientos de preparación y pruebas de muestras. Pero, dedicada a la inclusión de ésta en los planos de pruebas de calidad de fabricación, se deja la definición de criterios de aceptación a la IEEE Std 1553-2002 *Trial-Use Standard for Voltage-Endurance Testing of Form-Wound Coils and Bars for Hydrogenerators*.
Como contraparte se tiene a la *IEC 60034-18-32 Functional evaluation of insulation systems – Test procedures for form-wound windings – Evaluation by electrical endurance* que describe los procedimientos de prueba para la evaluación de la endurancia eléctrica de sistemas aislantes para uso en máquinas eléctricas de corriente alterna o continua que utilizan bobinados conformados. No hay valores límite o criterios de aceptación definidos ya que la intención de esta guía no es la de ser aplicada como pruebas de inspección de la calidad de fabricación.

2.2 Endurancia térmica

La IEEE Std 434, ítem *5 Thermal endurance* instituye que esta prueba es un medio para determinar la razón con la que se deterioran irreversiblemente algunas propiedades importantes de un sistema de aislamiento en función del tiempo. Este estándar también hace observaciones genéricas sobre conceptos, preparativos para pruebas y procedimientos de evaluación. Esta prueba de evaluación funcional se la debe realizar sometiendo las muestras a una temperatura constante y a intervalos periódicos realizar evaluaciones de acuerdo con un conjunto de pruebas predefinidas.
Orientada al mismo tema se tiene la *IEC 60034-18-31 Functional evaluation of insulation systems – Test procedures for form-wound windings – Thermal evaluation and classification of insulation systems used in rotating machines*; el procedimiento de prueba descrito en ese documento pretende comparar la endurancia térmica del material del aislante principal entre los conductores y tierra y, cuando requerido por el diseño de la barra o bobina, el aislamiento entre espiras.

2.3 Endurancia termomecánica

Esta prueba de evaluación funcional tienta reproducir las tensiones termomecáncias internas creadas cuando contracciones o expansiones cíclicas de origen térmico provocan movimiento relativo entre el aislante principal y los conductores de cobre.
En este sentido la IEEE Std 434 presenta observaciones conceptuales, generalidades sobre procedimientos de pruebas y propone criterios de evaluación comparativa.

---

[2] De acuerdo con la *IEC 60050 International Electrotechnical Vocabulary - IEV ref 151-16-22* se empleará el neologismo "endurancia" para referirse a "endurance", del inglés.

Con el propósito de abarcar el factor de envejecimiento térmico, se ha publicado la *IEC 60034-18-34 Rotating electrical machines – Part 18-34: Functional evaluation of insulation systems – Test procedures for form-wound windings – Evaluation of thermo-mechanical endurance of insulation systems*. Que, en términos generales se encuentra alineado con su par en el IEEE 434.

2.4 Endurancia electromecánica.

Las fuerzas electromecánicas que se dan lugar dentro de las ranuras del estator y el grande impacto de las fuerzas producidas por un cortocircuito son el foco principal de el *IEEE Std 434 item 7. Electromechanical endurance*. De hecho, las dos pruebas descritas son sólo pruebas de resistencia mecánica, ya que la prueba de voltaje aplicado es apenas un indicador de falla y no constituye un factor de envejecimiento.
El *IEEE Std 434 item 7. Electromechanical endurance* sugiere la construcción de aparatos de prueba tanto para test de impacto como para la prueba de vibración. Pero no incluye ninguna indicación ni de la fuerza de impacto, ni de la amplitud de la vibración de prueba.
Una directriz de la IEC dedicada a relacionar exclusivamente los factores eléctricos y mecánicos semejantes a los sugeridos por el *IEEE Std 434 item 7. Electromechanical endurance* no está disponible hasta el momento.

2.5 Endurancia al efecto simultaneo de múltiplos factores: eléctricos, mecánicos y térmicos.

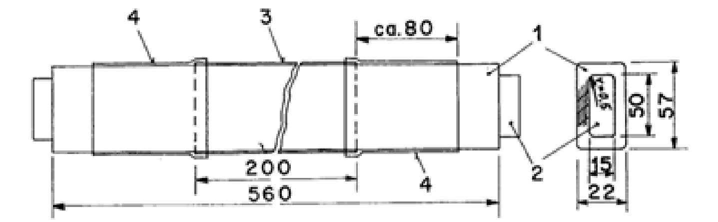
Con exclusividad la *IEC/TS 60034-18-33 Rotating electrical machines – Part 18-33: Functional evaluation of insulation systems – Test procedures for form-wound windings – Multifactor evaluation by endurance under simultaneous thermal and electrical stresses* describe procedimientos para la evaluación funcional de sistemas aislantes cuando el deterioro frente a múltiplos factores, tales como eléctricos, mecánicos, térmicos y ambientales, desean ser evaluados simultánea o independientemente en cuerpos de prueba. Esta directriz no tiene un correspondiente en el ambiente del IEEE.

3 CONFIGURACIONES DE PRUEBA, PARAMETROS Y CRITERIOS DE EVALUACIÓN

En ambos ámbitos, tanto de la IEC como del IEEE, no se proporcionan definiciones claras de las configuraciones de prueba, ni de los parámetros, ni de los criterios de evaluación. Tal vez se deba al hecho de que estos dependen del tipo y porte de la máquina, y de la definición de sus condiciones de operación.

3.1 Formeta

De acuerdo con la IEC [9] se denomina de formeta a una muestra para ser usada en pruebas de evaluaciones funcionales de sistemas de aislamiento eléctrico de barras o bobinados conformados.
Tanto la IEC como el IEEE aceptan el uso de barras reales de producción, de prototipos de barras o bobinas, o de secciones de estas, desde que contemplen todos los componentes empleados en el sistema aislante acabado. La espesura del aislante principal debe corresponder al nivel de tensión bajo evaluación.
La IEEE Std 434 con la finalidad de obtener valores estadísticos confiables, sugiere que al menos 5 muestras sean incluidas en cada nivel y configuración de prueba. Sugiere una longitud típica para la muestra: variando entre 75 cm y 125 cm. En ambas normas no se menciona nada relativo a la sección transversal de la formeta.
Un ejemplo típico de un cuerpo de prueba utilizado en las evaluaciones funcionales y descrita en [3] se encuentra ilustrado en la figura 2.



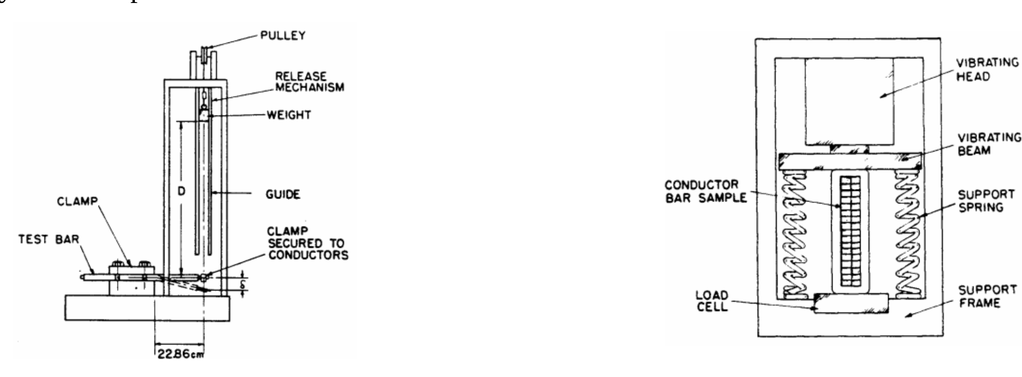
1. Aislante del conductor;
2. Conductor;
3. Recubrimiento equipotencial;
4. Recubrimiento para control del equipotencial

Figure 2 – Formeta o cuerpo de prueba destinado a ensayos de evaluación funcional de larga duración.

3.2 Configuraciones de prueba y parámetros.

Como mencionado antes, las pruebas de endurancia eléctrica, endurancia térmica y endurancia electromecánica cuentan con procedimientos y estándares adecuados que recomiendan parecidas

configuraciones de prueba, y con equipos de prueba bien instituidos que pueden ser encontrados bajo la misma forma en casi todas partes. La diferencia se manifiesta en las pruebas de endurancia electromecánica.
Como la *IEEE Std 434 item 7. Electromechanical endurance* es la única que se dedica a evaluar el impacto de las fuerzas electromecánicas que ocurren dentro de la ranura, bien como las consecuencias de las fuerzas ocasionadas por un cortocircuito, conforme ilustrado en la figura 3, ofrece sugestión de dos posibles dispositivos, uno para cada prueba. Entre tanto no se encuentra definiciones sobre como definir el peso a ser utilizado en el ensayo de impacto, ni tampoco de cómo definir la amplitud e intensidad del cabezal vibrador. Cómo no se ofrece un criterio de evaluación. Entonces, solo será posible realizar pruebas funcionales comparativas si se utilizaran los mismos dispositivos y configuraciones de prueba independiente de la naturaleza de la muestra. Hay que remarcar que estas pruebas se consideran de endurancia puramente mecánica y no como pruebas de endurancia electromecánica.



3.a – dispositivo para prueba de impacto 3.b – dispositivo para pruebas de carga vibratoria

Figure 3 – dispositivos sugeridos en el IEEE Std 434 para la conducción de pruebas electromecánicas

Para conducir las pruebas funcionales combinando simultáneamente factores eléctricos, mecánicos y térmicos, desde antes de 1976 [3] se emplea un dispositivo de pruebas como se muestra en la figura 4.



Figure 4 – banco de pruebas de endurancia combinada de factores eléctricos, térmicos y mecánicos

En el banco de pruebas de la figura 4 es posible ensayar 4 formetas por vez, si ocurriera una falla, la muestra en cuestión es desconectada por un sistema de monitoreo, y se registra el tiempo hasta la falla.

3.3 Criterios de evaluación

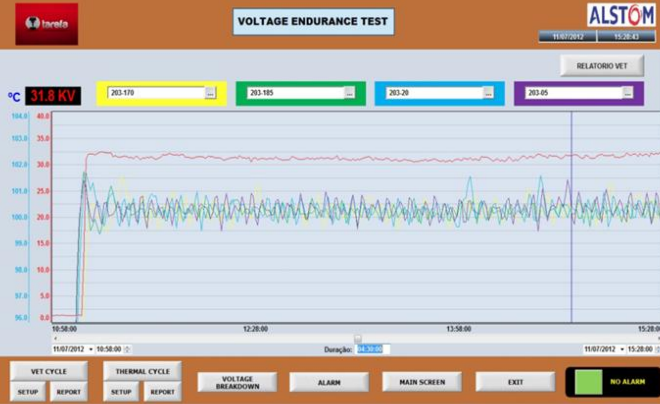
Como se verá más adelante, el objetivo de estas recomendaciones no es el de ofrecer criterios para aprobar un sistema aislante. Su intención es recomendar una homogenización de procedimientos buscando que todos los fabricantes puedan centralizar sus estudios comparativos dentro de una metodología común de observación.
En consecuencia a las IEC 60034-18 e IEEE Std 434 algunas de sus pruebas fueron adoptadas en los ensayos de rutina de arrollamientos estatóricos tanto por propietarios como por fabricantes:

Endurancia al voltaje, amparado por el *IEEE Std 1043 Recommended practice for voltage endurance*. Se aplica a barras o bobinas de producción industrial en su estado final de acabado. Un mínimo de 4

muestras escogidas aleatoriamente deben ser probadas simultáneamente. Son sometidas a temperatura e voltaje constantes, pudiendo ser en temperatura ambiente o elevada (normalmente se elige la temperatura de operación de régimen, ej. 120^{o} C); el *IEEE Std P1553 Voltage-endurance testing of form-wound bars and coils for hydro-generators,* en su tabla 1, propone dos pruebas de larga duración a) Programación A 400 horas; y b) Programación B 250 horas. Que, de acuerdo con el voltaje nominal y programación escogidos, dispone un voltaje mayor o menor, respectivamente (ej. Para 13,8 kV – Programación B – las muestras deben ser sometidas a 35 kV por 250 horas). Se dice que la población entera cumplió con los requisitos de la prueba si ninguna muestra fallara dentro del período de programación escogido. En la figura 5 se muestra una instalación típica adecuada a este tipo de prueba.



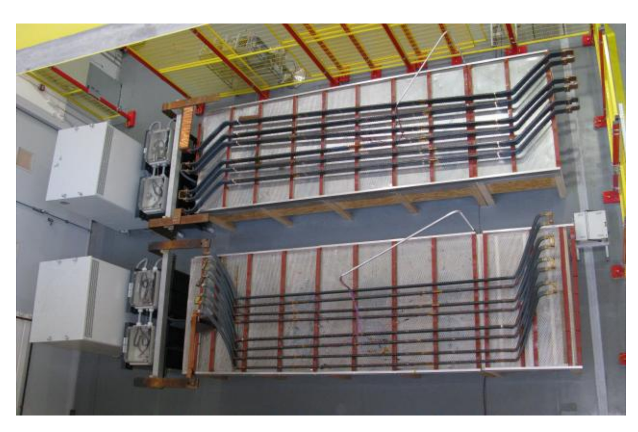
5.a) instalación típica



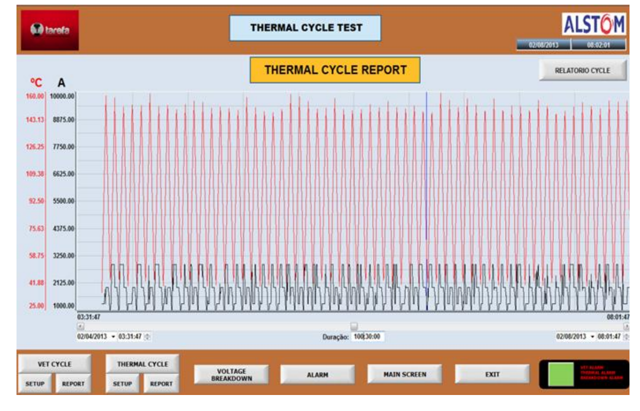
5.b) pantalla de monitoreo de voltaje y temperatura

Figura 5 – Instalación típica para prueba de endurancia al voltaje y pantalla de monitoreo.

Endurancia termomecánica, el propósito de esta prueba es observar la aptitud del compuesto aislante para resistir al deterioro promovido por cambios cíclicos de calentamiento y enfriamiento. El *IEEE Std 1310-2012 Recommended Practice for Thermal Cycle Testing of Form-Wound Stator Bars and Coils for Large Rotating Machines* propone una plataforma de pruebas, recomienda que al menos 4 muestras sean elegidas al acaso y que de acuerdo con la clase del aislante se configure un rango de temperatura y la duración del ciclo térmico (ej. Para clase 155 (F) el rango de temperatura irá de 40^{o} C para 155^{o} C y de 155^{o} C para 40^{o} C en un período de $t = 2 \cdot (155 - 40)/2{,}5 = 92$ minutos). Normalmente, se acuerda que la prueba dure 250 o 500 ciclos. Siendo que, después de 50, 100, 250, y si aplicable, 500 ciclos se midan: el factor de disipación tanδ, capacitancia y que las muestras se sometan a la prueba de sonido[3]. No se ha establecido un criterio formal de aceptación, los datos gravados son registrados como una estampa de su estado de nuevo para futuros estudios de pérdida de vida o envejecimiento. La figura 6 presenta una plataforma de pruebas en conformidad con la IEEE Std 1310-2012 y la pantalla de control del ciclado térmico.



5.a) Plataforma de prueba - IEEE Std 1310-2012



5.b) pantalla de monitoreo del ciclado térmico

[3] Del inglés “tapping test”, consiste en golpear levemente la pieza para en respuesta evaluar el sonido provocado.

Figura 5 – plataforma de prueba de endurancia termomecánica y pantalla de monitoreo.

4 VOCACIÓN Y METODOLOGIA DE VALIDACIÓN

Ambas guías, la IEEE Std 434 y la IEC 60034-18, recomiendan medidas relativas de parámetros que deberían ser comparadas con otras similares oriundas de sistemas consolidados, las que servirían de referencia toda vez que se introduzcan modificaciones en las dosis de los componentes o se apliquen nuevos materiales. Por lo tanto, estos estándares no se destinan para uso integrado al plan de pruebas de control de calidad. Tampoco deberían ser usadas como parte de especificaciones técnicas del sistema de aislamiento eléctrico de la máquina.
De hecho, el IEEE Std 434 instituye claramente en su ítem *1.1 Scope* que:

> *This guide is not intended for use as a manufacturer's quality assurance test plan. Nor should it be used for specifying or procuring armature winding coils/bars.*

Por lo tanto, su aplicación a planes de control de calidad o como base para especificaciones técnicas de sistemas aislantes no es recomendada. Una vez que la vocación de esta guía, según su ítem *1.2 Purpose* es el de establecer las bases para la evaluación del envejecimiento de sistemas aislantes que hayan sido sometidos a la acción de los factores TEAM de influencia o deterioro.
Complementariamente, la IEC 60034-18-1 explícitamente instituye en su ítem *4.1 Introductory remarks* que:

> *All functional tests given in the IEC 60034-18 series are comparative. The performance of a candidate system is compared with that of a reference system when both are subjected to equivalent test conditions with respect to test objects, methods of ageing and diagnostic tests.*

De modo que la evaluación funcional consiste en comparar el diagnóstico de un sistema candidato con el de un sistema de referencia, lo que permitiría calificar el candidato a sistema aislante.
La sola comparación de sistemas aislantes entre prole y progenitor, evaluadas bajo condiciones diferentes, por si misma, no es totalmente significativa. Una manera más satisfactoria de evaluar un nuevo sistema de aislamiento, o las modificación introducidas en una nueva generación, debería ser por comparación directa de resultados obtenidos cuando se somete el candidato a los mismos criterios de evaluación de un sistema aislante de referencia ya consagrado por su buen tiempo de servicio.

5 LA METODOLOGIA APLICADA EN NUESTRA EMPRESA

El abordaje a las pruebas de evaluación funcional de sistemas aislantes sigue las recomendaciones de las guías mencionadas, bien como, considera también su conocimiento y experiencia adquirida en servicios y evaluaciones de campo en más de 50 años acompañando la evolución de su sistema de aislamiento eléctrico Micadur®.
Los procedimientos de la empresa, obstinados en cumplir con las recomendaciones citadas en el ítem 2 de este documento, están fundamentados en guías y estándares internacionales. En la ausencia de un documento internacional apropiado, fueron desarrollados nuevos métodos y procedimientos.
Las pruebas se aplican a los siguientes materiales, o compuestos de estos: materias primas (resinas, cintas aislantes); compuestos (cintas aislantes impregnadas con resinas); muestras de material aislante conforme padrón interno (formetas, bobinas, modelos de ranuras); elementos originarios del arrollamiento (barras, bobinas); segmentos de núcleo del estator; y arrollamientos originales.
Las pruebas de evaluación funcional conducidas en la empresa también son agrupadas de acuerdo con los factores TEAM de deterioro.

5.1 Pruebas funcionales **T**érmicas

- Medida de pérdida de masa de envejecimiento en diferentes temperaturas;
- Determinación de la tensión a flexión después de envejecer a diferentes temperaturas y determinación del índice de temperatura;
- Factor de pérdidas dieléctricas (tan δ) del sistema aislante a diferentes temperaturas.

5.2 Pruebas funcionales **E**léctricas

- Medida del factor de disipación (tan δ) como una función del voltaje aplicado, en estado de nuevo y envejecido;
- Medición de descargas parciales en función del voltaje aplicado;
- Determinación de la tensión disruptiva de corto plazo;
- Mediciones de resistencia eléctrica;
- Pruebas de endurancia al voltaje.

5.3 Pruebas funcionales para determinar los efectos **A**mbientales

- Pruebas de resistencia a: agua, aceites, solventes, freón, agua marina y a radiaciones;
- Prueba de combustibilidad o ignición;
- Almacenamiento a bajas temperaturas;
- Higroscopia o prueba de absorción de agua.

5.4 Pruebas funcionales **M**ecánicas

- Determinación de la resistencia a flexión;
- Determinación de las características de fatiga de fuerzas pulsantes de flexión;
- Resistencia de las cuñas instaladas en ranuras bajo acción de cargas estáticas y dinámicas.

6 CONCLUSIONES

La IEC 60034-18 y sus partes fueron confrontadas con el IEEE Std 434 resaltando su complementariedad bien como diferencias identificas. Así mismo, la metodología utilizada fue comparada con ambas recomendaciones.
Se hizo un discernimiento de los factores TEAM de deterioro con el propósito de comparar las pruebas de evaluación funcional de endurancia propuestas y su correspondencia entre el IEEE y la IEC. Ese ejercicio permitió formar una imagen sobre como comunidades técnicas complementarias están tratando la misma necesidad de calificar los méritos de diferentes sistema aislantes.
También se relató cómo algunas de esas pruebas de endurancia fueron incluidas en las pruebas de rutina de sistemas aislantes, habiendo comentado sus criterios de evaluación o la ausencia de estos.
El análisis de ambas directrices permitió confirmar que estos documentos no deben ser aplicables como base para guías calidad asegurada, ni tampoco para la confección de especificaciones técnicas de arrollamientos.
Finalmente, también fue descrita la forma como nuestra empres aborda dichos ensayos funcionales, indicando las pruebas internas típicas incluidas en su cometido por una evaluación exhaustiva de su sistema aislante Micadur®

7 REFERENCIAS

[1] IEC 60034-18-1. Edition 2.0 2010-03 Rotating electrical machines – Part 18-1: Functional evaluation of insulation systems – General guidelines.
[2] IEEE Std 434 – 2006 (Revision of IEEE Std 434-1991) IEEE Guide for Functional Evaluation of Insulation Systems for AC Electric Machines Rated 2300 V and Above.
[3] R.H. Schuler & G. Lipták – 15-05 Long-time functional tests on insulation systems for high voltage rotating machines. Cigré International Conference on Large High Voltage Electric Systems, 1976, Paris.
[4] W. Hutter, R. Schuler, B. Wirsching – Rotating Electrical Machines, Winding Diagnostic and Monitoring Methods, ABB Drives AG, 1996.
[5] IEC 60034-18-31. Edition 2.0 2012-06 Rotating electrical machines – Part 18-31:Functional evaluation of insulation systems – Test procedures for form-wound windings – Thermal evaluation and classification of insulation systems used in rotating machines
[6] IEC 60034-18-32. Edition 1.0 2010-10 Rotating electrical machines – Part 18-32: Functional evaluation of insulation systems – Test procedures for form-wound windings – Evaluation by electrical endurance.
[7] IEC/TS 60034-18-33 Edition 2.0 2010-07 Rotating electrical machines – Part 18-33: Functional evaluation of insulation systems – Test procedures for form-wound windings – Multifactor evaluation by endurance under simultaneous thermal and electrical stresses.
[8] IEC 60034-18-34 Edition 1.0 2012-06 Rotating electrical machines – Part 18-34: Functional evaluation of insulation systems – Test procedures for form-wound windings – Evaluation of thermomechanical endurance of insulation systems

[9] IEC 60050 - 20014 International Electrotechnical Vocabulary